

# Método de medida de dispositivos para banda milimétrica usando transiciones coplanares de banda ancha

Enrique Villa, Beatriz Aja, Luisa de la Fuente, Eduardo Artal

villae@unican.es

Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones. Universidad de Cantabria.

Avda. de Los Castros s/n, 39005, Santander, Cantabria

**Abstract-** A wideband coplanar to microstrip transition without via holes has been used for device testing at millimetre wave frequencies (from 20 to 40 GHz), in order to have an accurate characterisation of the tested devices. Circuits under tests are built on 0.254 mm thick Alumina substrate. Test method, with a coplanar probe station, has been checked with different devices, and validated by comparison with commercial coplanar to microstrip transitions with via holes.

## I. INTRODUCCIÓN

La caracterización de dispositivos en la banda de ondas milimétricas, montados en líneas microstrip, presenta el problema de una deficiente precisión en el caso de usar transiciones de línea microstrip a coaxial. A frecuencias elevadas estas transiciones presentan efectos parásitos y mala adaptación de impedancia, por lo que no son útiles para una buena caracterización de dispositivos insertados en microstrip. Como solución se plantea un método de medida basado en transiciones coplanares a microstrip de banda ancha, para la medida de dispositivos con una estación de sondas coplanares. Dichas transiciones se han usado para el montaje y caracterización de diferentes dispositivos, y se ha validado experimentalmente el método propuesto.

Para el diseño de las transiciones coplanares a microstrip caben dos opciones: una de ellas tener transiciones con agujeros metalizados como pasos a masa sobre el sustrato (via holes), o la segunda, diseñar las transiciones sin dichos agujeros metalizados. La solución adoptada por simplicidad en el proceso de fabricación de las transiciones para la posterior medida de los dispositivos es la segunda, que ya ha sido utilizada en [1], [2]. De esta manera, se han colocado tierras virtuales a ambos lados del conductor central de la línea coplanar. Dichas masas virtuales se han diseñado utilizando stubs radiales centrados en la banda de frecuencias de interés. La forma de los stubs radiales se ha modificado respecto a su forma habitual para, que sin alterar su funcionamiento, permita posar las sondas coplanares, manteniendo un mismo plano de referencia durante el proceso de medida. De esta manera se ha evitado la realización de agujeros metalizados en el sustrato de Alúmina utilizado.

Se ha procedido al diseño de un conjunto (kit) de calibración de tipo TRL (Thru-Reflect-Line) con las transiciones coplanar a microstrip diseñadas, para la medida de parámetros de Scattering. Con la calibración se corrige el efecto de las transiciones.

Por último se ha realizado la medida de varios dispositivos montados con líneas microstrip, validando el método de medida propuesto comparando los resultados obtenidos con transiciones coplanar a microstrip comerciales.

## II. DISEÑO TRANSICIONES COPLANAR-MICROSTRIP

El diseño de las transiciones comienza con la definición de las características a cumplir por los tramos de línea que hay en la

transición, tanto microstrip como coplanar, y que debe proporcionar impedancias de  $50 \Omega$  en ambos tramos de línea. Para hacer gradual el cambio de anchura entre tramo de línea coplanar y tramo microstrip, se hace uso de una línea tipo "taper".

En el proceso de medida se han usado sondas coplanares con separación de  $150 \mu\text{m}$  entre contactos, lo que debe tenerse en cuenta para el diseño de la línea coplanar.

En la fabricación se va a utilizar un sustrato de Alúmina de grosor  $0.254 \text{ mm}$  (10 mils), con una constante dieléctrica  $\epsilon_r = 9.9$  y con plano de masa. El conductor es oro de 3 micras de grosor.

Mediante el uso de un calculador de los parámetros de las líneas de transmisión (LineCalc), tanto microstrip como coplanar, se han obtenido las anchuras de las líneas ( $W_{\text{strip}}$  y  $W_{\text{cop}}$ ), así como la separación entre la línea conductora central de la coplanar y los planos laterales de la misma ( $W_{\text{gap}}$ ), como pueden verse en la Fig. 1.

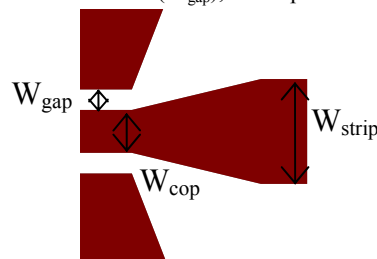


Fig. 1. Parámetros de las líneas de transmisión

La banda de trabajo que se pretende cubrir va de 20 a 40 GHz. Como medio de sintonía de dicha banda de funcionamiento, se han utilizado los stubs radiales situados a ambos lados del conductor central de la línea coplanar de entrada.

Estos stubs radiales se han variado, respecto a su forma original más común, para facilitar el proceso de medida. La modificación introducida en los mismos es la que se muestra en la Fig. 2. La forma definitiva que se le da al stub viene marcada por el posicionamiento de las sondas coplanares en un mismo plano de medida, ya que de mantener la estructura original con un determinado ángulo en la línea lateral del stub, nos haría tener una mayor superficie de sustrato, lo que de cara a futuros montajes en cadena con este tipo de transiciones sería perjudicial, ya que nos haría tener mayor longitud de hilos de oro de interconexión, crítico a estas frecuencias.

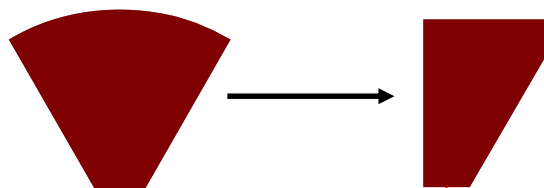


Fig. 2. Forma adoptada por el stub radial

La modificación del stub radial en su forma, no modifica nada el funcionamiento que presenta en la banda de trabajo, proporcionando una buena masa virtual.

Definidas la banda de funcionamiento y las características de las líneas de transmisión, la estructura de la transición diseñada es la que se muestra en la Fig. 3, para añadir a continuación el dispositivo en montaje microstrip que se desea medir.



Fig. 3. Transición coplanar a microstrip diseñada

### III. DISEÑO DEL KIT DE CALIBRACIÓN

#### A. Diseño

Para medir los dispositivos montados en microstrip, con las transiciones descritas, se lleva a cabo el diseño de un kit de calibración, con las pautas de definición del mismo según [3], [4]. Una vez definidos los parámetros del kit, se puede sustraer el efecto de las transiciones, obteniendo directamente los parámetros de Scattering del dispositivo bajo medida.

El kit diseñado se basa en la calibración TRL (Thru-Reflect-Line). En la Fig. 4, pueden verse los estándares incluidos en el kit, que se han analizado para conocer su respuesta y correcto funcionamiento.

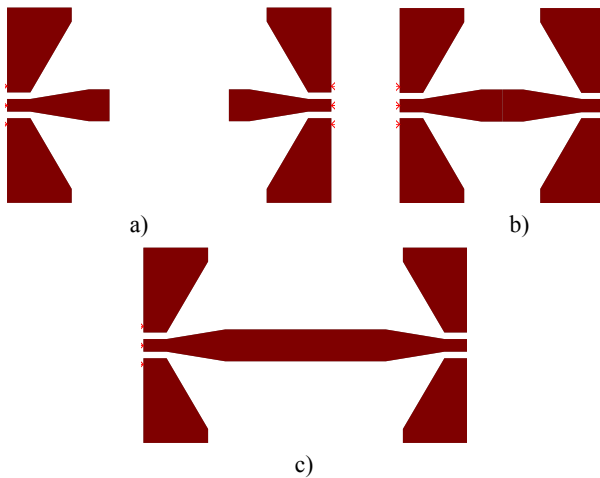


Fig. 4. Estándares incluidos en el kit: a) Reflect; b) Thru; c) Line

El estándar 'line' se ha diseñado mediante la fabricación de un tramo de línea de longitud  $\lambda/4$  a la frecuencia central de trabajo. La longitud que aquí se presenta es de 942  $\mu\text{m}$ , introduciendo un retardo de 8.36 ps. Debido a que la banda de frecuencias que se quiere cubrir (20 a 40 GHz) no supone un recorrido excesivamente grande (menor de una relación 8:1 entre las frecuencias inicial y final), no es necesario diseñar otro estándar tipo 'line' para cubrir la banda deseada.

#### B. Simulación electromagnética

El análisis de los estándares pertenecientes al kit de calibración diseñado se ha realizado mediante simulación electromagnética, con la herramienta software Momentum de ADS (Agilent Technologies).

Se ha realizado un estudio desde 20 a 40 GHz, teniendo en cuenta que se desea que las transiciones trabajen de manera óptima en esta banda.

Los resultados obtenidos se muestran en las siguientes figuras ('thru' - Fig. 5; 'line' - Fig. 6; diferencia fase entre 'line' y 'thru' - Fig. 7; 'reflect' - Fig. 8):

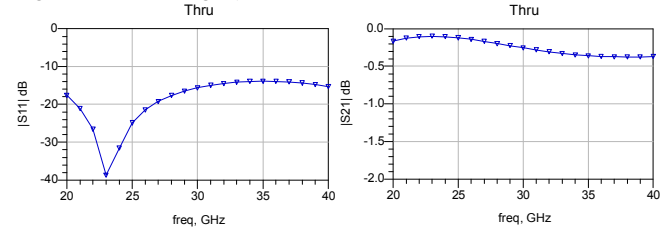


Fig. 5. Respuesta simulada del estándar 'thru'

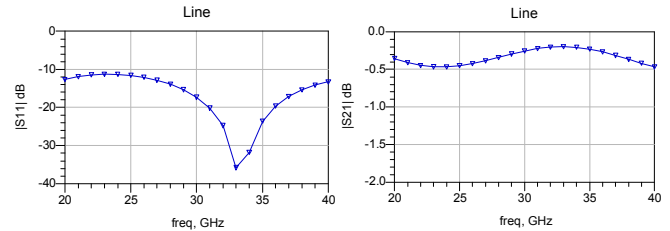


Fig. 6. Respuesta simulada del estándar 'line'

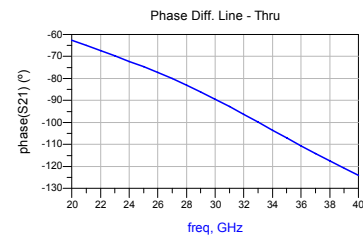


Fig. 7. Diferencia de fase entre estándares 'line' y 'thru'

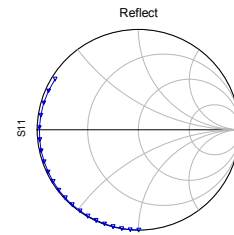


Fig. 8. Respuesta simulada del 'reflect'

Obtenidos estos resultados del proceso de simulación de los estándares, se observa que presentan un buen comportamiento en cuanto a pérdidas de retorno y de inserción, así como un buen coeficiente de reflexión para el estándar 'reflect'.

### IV. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Una vez terminado el proceso de simulación y observados los resultados, se procede a la fabricación y montaje en microstrip, en el sustrato de alúmina, de los circuitos y dispositivos a medir.

#### A. Kit de calibración

El primer elemento fabricado fue el kit de calibración, para su medida de los parámetros de Scattering y para la comparación con los resultados de simulación. El circuito fabricado se puede ver en la Fig. 9 durante el proceso de medida de los diferentes estándares en la estación de sondas coplanares.

La medida de los parámetros de Scattering de los diferentes estándares diseñados para el kit se ha realizado con el analizador de redes PNA E8364A de Agilent Technologies, con sondas coplanares con un pitch de 150  $\mu\text{m}$  que permiten una medida precisa hasta 67 GHz, realizando una calibración TRL con el sustrato de calibración CS-5 de PicoProbe [5].

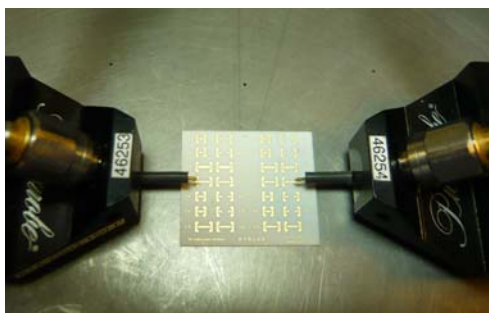


Fig. 9. Medida del kit fabricado

Los resultados obtenidos de la medida pueden observarse en la siguiente figura, Fig. 10, donde se presentan la medida de algunos de los estándares para su comparación con la simulación.

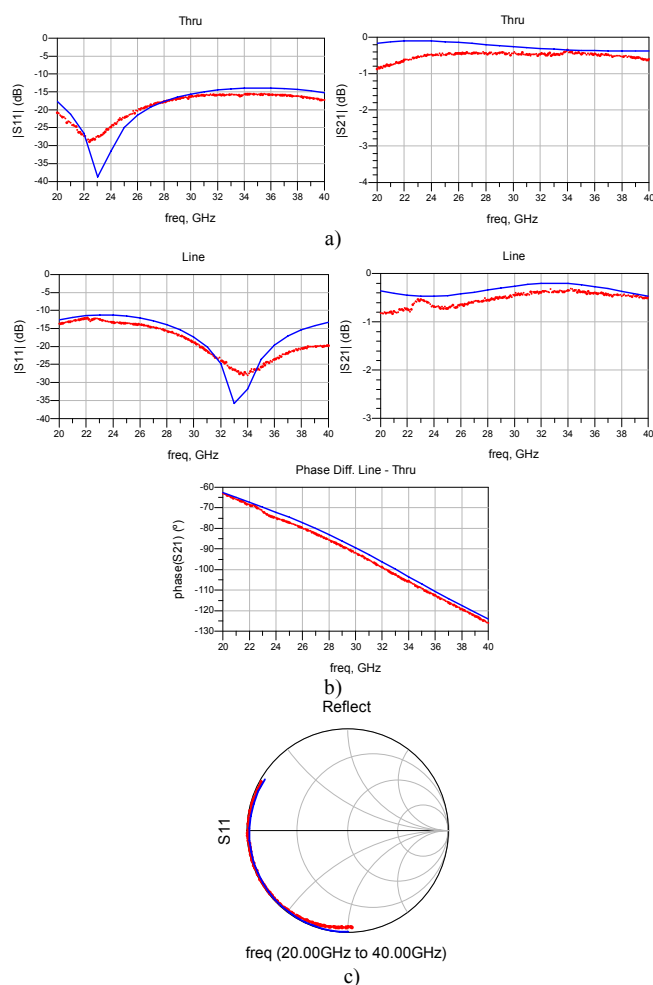


Fig. 10. Comparativa simulación (curva azul)-medidas (puntos rojos) de los estándares: a) Thru; b) Line (con diferencia de fase 'line'-'thru'); c) Reflect

## B. Filtros paso banda

Los primeros dispositivos medidos en montaje con las transiciones diseñadas son dos filtros paso banda en microstrip (Fig. 11).



Fig. 11. Filtros paso banda diseñados con transiciones

Ambos filtros se han diseñado en alúmina, en configuración línea-stub, con una banda de paso que cubre desde 26 hasta 36 GHz.

La medida de los dispositivos fabricados con las transiciones diseñadas se realiza con el analizador de redes E8364A, usando el kit fabricado (calibración TRL), para lo cual ha sido necesario definir un calkit con las características de los estándares, importándolo en el equipo de medida para la corrección del efecto de las transiciones.

Los resultados obtenidos de ambos filtros en las medidas, tras realizar la calibración del equipo de medida con el kit diseñado, son los que se muestran en la siguiente figura (Fig. 12), donde también se muestra la comparativa con la simulación electromagnética en accesos microstrip de ambos filtros.

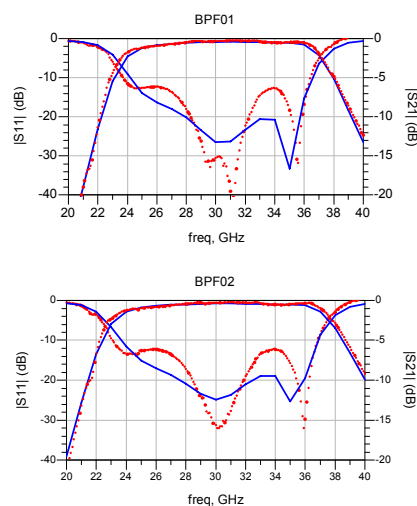


Fig. 12. Comparativa medidas (trazas rojas punteadas) y simulación (curva azul) de ambos filtros

Se puede observar de la comparación de los resultados obtenidos del proceso de medida y de la simulación que se corrige el efecto de las transiciones, obteniéndose la matriz S del dispositivo bajo prueba como se deseaba.

## C. Resistencia en tecnología Thin-Film

El segundo dispositivo diseñado para su medida con las transiciones es una resistencia en tecnología impresa (Fig. 13). El sustrato de alúmina que se utiliza para estos diseños, presenta una capa resistiva ( $20 \Omega/\text{sq}$ ) de níquel-cromo (NiCr) bajo la capa conductora de oro, con lo que, realizando los ataques químicos necesarios sobre el sustrato, se puede crear este tipo de resistencia. El valor de diseño es de  $30 \Omega$ .

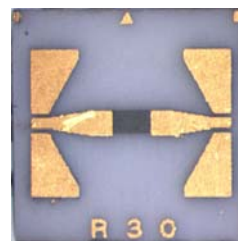


Fig. 13. Resistencia Thin-Film fabricada

En la Fig. 14 pueden verse los resultados de la medida de la resistencia mostrada en la Fig. 13, así como los resultados de la simulación electromagnética de la misma con Momentum.

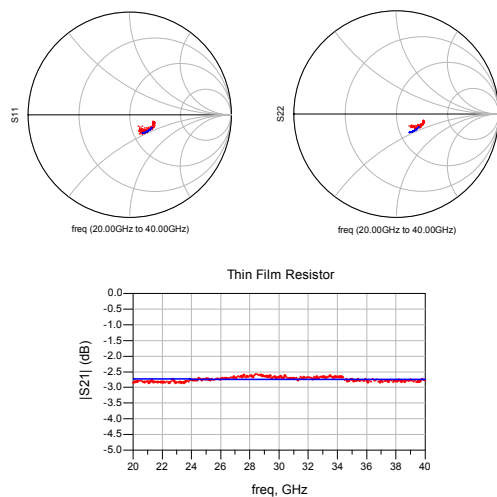


Fig. 14. Comparativa simulación electromagnética (curva azul) y medida (traza en puntos rojos) de la resistencia

Se puede observar en dichos resultados que la resistencia presenta un efecto capacitivo. Se trata de un modelo distribuido, que se comporta como si se tratase de una línea de transmisión con pérdidas.

Mediante comparación de los resultados, se observa nuevamente que se obtiene la matriz S del dispositivo bajo prueba, eliminando el efecto de las transiciones.

#### D. Diodo Schottky

El último dispositivo medido es un diodo. Se trata de un diodo Schottky beamlead zero bias, modelo HSCH-9161 de Avago.

Se ha realizado el montaje de dos unidades (Fig. 15): una con las transiciones aquí presentadas, mientras que la segunda con transiciones coplanar a microstrip comerciales con agujeros metalizados [6]. Los dos montajes son para validar el método de medida aquí presentado, comparando sus resultados con los obtenidos con el método de medida basado en las transiciones comerciales de Jmicro.

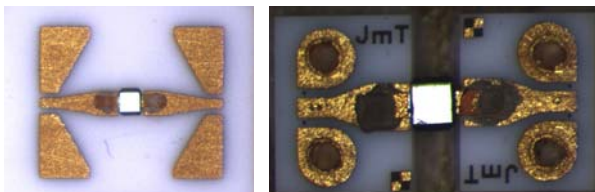


Fig. 15. Diodo HSCH-9161 en ambos montajes

En la Fig. 16 también se presenta la simulación de un modelo del diodo obtenido del fabricante [7], a modo de comparación con los resultados obtenidos en ambas medidas.

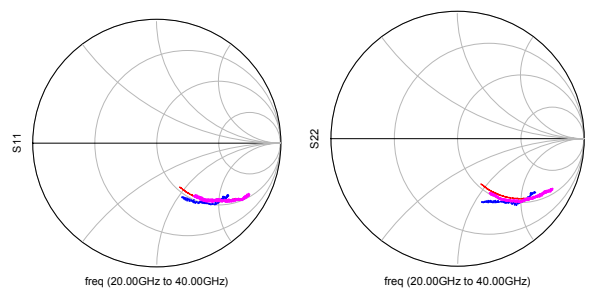


Fig. 16. Comparativa de los resultados: modelo simulado (curva en color rojo), con las transiciones diseñadas (curva punteado azul) y con transiciones comerciales (curva color rosa)

#### V. CONCLUSIONES

Se ha desarrollado un método de medida de parámetros de Scattering para dispositivos que trabajen en la banda de ondas milimétricas, basado en transiciones de línea coplanar a microstrip de banda ancha.

Se ha comprobado el correcto funcionamiento de las transiciones coplanar a microstrip diseñadas, cubriendo la banda de 20 a 40 GHz, así como la buena repetibilidad y consistencia de las medidas.

Se ha propuesto un método de medida de parámetros de Scattering de fácil implementación sobre un sustrato de Alúmina evitando la utilización de agujeros metalizados (via holes).

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado con la financiación del Plan Nacional de I+D+I del Ministerio de Educación y Ciencia, proyecto del Programa Nacional de Astronomía y Astrofísica, referencia AYA2007-68058-C03-03.

La fabricación y el montaje de los circuitos han sido realizados por Alexandrina Pana y Eva Cuerno.

#### REFERENCES

- [1] K. Schmidt von Behren et al., "77 GHz Si-Schottky Diode Harmonic Mixer", *Proceedings of 32<sup>nd</sup> European Microwave Conference*, pp. 1-4, Oct. 2002
- [2] G. Zheng et al., "Wideband Coplanar Waveguide RF Probe Pad to Microstrip Transitions Without Via Holes", *Microwave and Wireless Component Letter, IEEE*, Vol. 12, Issue 13, pp. 544-546, Dec. 2003.
- [3] "Agilent Network Analysis Applying the 8510 TRL Calibration for Non-Coaxial Measurements", Product Note 8510-8A, Agilent Technologies.
- [4] "Agilent Specifying Calibration Standards for the Agilent 8510 Network Analyzer", Product Note 8510-5B, Agilent Technologies.
- [5] "CS-5 Calibration Substrates" datasheet, GGB Industries Inc.
- [6] "Coplanar to Microstrip ProbePoint Adapter Substrates", Data sheet, Jmicro Technologies.
- [7] "HSCH-9161 Zero Bias Beamlead Schottky Diode", Data sheet, Avago Technologies.